



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002200599 A**(43) Date of publication of application: **16.07.02**

(51) Int. Cl. **B81C 1/00**
G03F 7/40
H01L 21/3065
H01L 21/306
// G02B 26/08

(21) Application number: **2000385176**(22) Date of filing: **19.12.00**(30) Priority: **30.10.00 JP 2000330347**(71) Applicant: **SONY CORP**(72) Inventor: **HARA MASATERU**
SAMEJIMA TOSHIYUKI(54) **PRODUCING METHOD FOR
THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE**

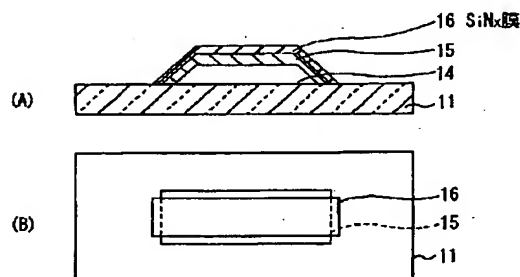
the amorphous silicon film 15.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a producing method for a three-dimensional structure capable of reducing a window effect by a relatively simple process and contracting a time necessary for an etching process even for a complicated structure.

SOLUTION: After forming a first sacrifice layer (a photo resist film) on a glass substrate 11, a second sacrifice layer (a silicon dioxide film) is formed on the photo resist film, and then the photo resist film is eliminated to form an air-gap 14. Thereafter, a third sacrifice layer (an amorphous silicon film 15) is formed on the second sacrifice layer (the silicon dioxide film), and the second sacrifice layer is eliminated to expand the air-gap 14. Then, after a desired structural film (a silicon nitride film 16) is formed on the third sacrifice layer, the third sacrifice layer (the amorphous silicon film 15) is eliminated by dry etching. Because the air-gap 14 formed underneath is large, a contact area of etching gas becomes large and a time necessary for an etching process is shortened in etching



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-200599

(P2002-200599A)

(43)公開日 平成14年7月16日(2002.7.16)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード*(参考)
B 8 1 C 1/00		B 8 1 C 1/00	2 H 0 4 1
G 0 3 F 7/40	5 2 1	G 0 3 F 7/40	5 2 1 2 H 0 9 6
H 0 1 L 21/3065		G 0 2 B 26/08	E 5 F 0 0 4
21/306		H 0 1 L 21/302	J 5 F 0 4 3
// G 0 2 B 26/08		21/306	S
審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 13 頁)			

(21)出願番号 特願2000-385176(P2000-385176)
 (22)出願日 平成12年12月19日(2000.12.19)
 (31)優先権主張番号 特願2000-330347(P2000-330347)
 (32)優先日 平成12年10月30日(2000.10.30)
 (33)優先権主張国 日本 (J P)

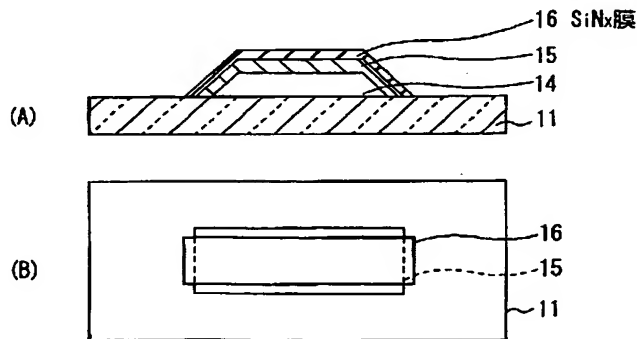
(71)出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都品川区北品川6丁目7番35号
 (72)発明者 原 昌輝
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
 ー株式会社内
 (72)発明者 鮫島 俊之
 東京都小金井市中町2丁目24番16号
 (74)代理人 100098785
 弁理士 藤島 洋一郎
 Fターム(参考) 2H041 AA16 AB14 AZ08
 2H096 AA27 AA28 HA30 JA04
 5F004 AA16 DA00 DB01 EA37 EB08
 5F043 AA31 BB22 DD15 FF10 GG10

(54)【発明の名称】 三次元構造体の作製方法

(57)【要約】

【課題】 比較的簡単な工程でウィンドウ効果を低減し、複雑な構造であってもエッチング工程に要する時間を短縮することができる三次元構造体の作製方法を提供する。

【構成】 ガラス基板11上に第1の犠牲層（フォトレジスト膜）を形成した後、フォトレジスト膜上に第2の犠牲層（二酸化シリコン膜）を形成し、そののちフォトレジスト膜を除去することにより空隙14を形成する。続いて、第2の犠牲層（二酸化シリコン膜）上に第3の犠牲層（非晶質シリコン膜15）を形成した後、第2の犠牲層を除去することにより空隙14を拡大させる。続いて、第3の犠牲層上に所望の構造膜（窒化シリコン膜16）を形成した後、第3の犠牲層（非晶質シリコン膜15）をドライエッチングにより除去する。非晶質シリコン膜15をエッチングする際に、下部の空隙14が大きいため、エッチングガスの接触面積が大きくなり、エッチング工程に要する時間が短縮される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 犠牲層をエッチングすることにより空隙を有する構造体を作製する工程を含む三次元構造体の作製方法において、

最終の犠牲層の下に 1 または 2 以上の別の種類の犠牲層を予め設けておき、これら別の種類の犠牲層を前記最終の犠牲層のエッチングの前に除去し、これにより得られた空隙を利用して前記最終の犠牲層のエッチングを行うことを特徴とする三次元構造体の作製方法。

【請求項 2】 基板上に第 1 の犠牲層を形成した後、前記第 1 の犠牲層上に別の種類の第 2 の犠牲層を形成し、そののち前記第 1 の犠牲層を除去することにより第 1 の空隙を形成する工程と、

前記第 2 の犠牲層上に別の種類の第 3 の犠牲層を形成した後、前記第 2 の犠牲層を除去することにより前記第 1 の空隙よりも大きな第 2 の空隙を形成する工程と、

前記第 3 の犠牲層上に所望の構造膜を形成した後、前記第 2 の空隙を利用して前記第 3 の犠牲層を除去する工程とを含むことを特徴とする三次元構造体の作製方法。

【請求項 3】 前記第 1 の犠牲層がフォトリソグ膜であることを特徴とする請求項 2 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 4】 前記第 2 の犠牲層を 150℃以下の基板温度で成膜し、前記第 3 の犠牲層を 150℃以上の温度で成膜することを特徴とする請求項 2 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 5】 前記第 3 の犠牲層が Si (シリコン) であり、その除去に XeF_2 (フッ化キセノン) あるいは BrF_3 (フッ化臭素) を用いることを特徴とする請求項 4 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 6】 基板上に第 1 の犠牲層を形成した後、前記第 1 の犠牲層上に別の種類の第 2 の犠牲層を形成し、そののち前記第 1 の犠牲層を除去することにより空隙を形成する工程と、

前記第 2 の犠牲層上に所望の構造膜を形成した後、前記空隙を利用して前記第 2 の犠牲層の一部あるいは全部を除去する工程とを含むことを特徴とする三次元構造体の作製方法。

【請求項 7】 前記第 1 の犠牲層がフォトリソグ膜であることを特徴とする請求項 6 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 8】 前記第 1 の犠牲層を 150℃以下の基板温度で成膜し、前記所望の膜を 150℃以上の温度で成膜することを特徴とする請求項 6 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 9】 前記第 1 の犠牲層の上に前記第 2 の犠牲層を形成した後、前記第 2 の犠牲層に選択的に開孔を形成し、そののち前記開孔を利用して前記第 1 の犠牲層を除去することを特徴とする請求項 6 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 10】 前記第 1 の犠牲層をフォトリソグ膜により形成することを特徴とする請求項 8 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 11】 前記第 1 の犠牲層を非晶質 Si (シリコン) により形成すると共に、前記第 2 の犠牲層を Al (アルミニウム) により形成し、そののち Al 層を陽極酸化することによりポーラスアルミナ層とすることを特徴とする請求項 8 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 12】 前記第 2 の犠牲層に形成する開孔を高アスペクト比のものとし、前記開孔の形成された第 2 の犠牲層上に低被覆率の成膜方法で前記構造膜を形成することにより、前記第 1 の犠牲層の開孔の影響を前記構造膜表面で無視できるようにしたことを特徴とする請求項 9 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 13】 基板の表面に複数の柱状部を有する型の前記柱状部を覆うように前記柱状部とは別の種類の第 1 の犠牲膜を形成し、そののち前記柱状部を除去することにより空隙を形成する工程と、

前記空隙を形成した後、前記第 1 の犠牲膜を覆うように更に別の種類の第 2 の犠牲膜を形成し、そののち前記基板上に前記第 2 の犠牲膜を埋め込むように所望の構造体を形成する工程と、

前記構造体を形成した後、前記基板を除去し、そののち前記空隙を利用して前記第 1 の犠牲膜および第 2 の犠牲膜をこの順に除去する工程とを含むことを特徴とする三次元構造体の作製方法。

【請求項 14】 前記柱状部はフォトリソグ膜によって形成されたものであることを特徴とする請求項 13 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 15】 前記第 2 の犠牲膜が Si (シリコン) であり、その除去に XeF_2 (フッ化キセノン) あるいは BrF_3 (フッ化臭素) を用いることを特徴とする請求項 14 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 16】 前記構造体を圧電材料の粉末を固めることにより形成することを特徴とする請求項 14 記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項 17】 基板の表面に複数の柱状凹部を有する膜を形成して型を作製する工程と、

前記型の膜上に柱状凹部に沿って第 1 の犠牲膜を形成し、そののち前記膜を除去することにより第 1 の空隙を形成する工程と、

前記空隙を形成した後、前記第 1 の犠牲膜を覆うように別の種類の第 2 の犠牲膜を形成し、そののち前記第 2 の犠牲膜上に複数の凹部を埋め込むように所望の構造体を形成する工程と、

前記構造体を形成した後、前記第 1 の犠牲膜を選択的に除去することにより前記第 1 の空隙よりも大きな第 2 の空隙を形成すると共に、前記構造体を前記基板から切り離す工程と、

前記構造体を前記基板から切り離したのち、前記空隙を

利用して前記第2の犠牲膜を除去する工程とを含むことを特徴とする三次元構造体の作製方法。

【請求項18】 前記型を、Si（シリコン）基板の表面を酸化し酸化膜（ SiO_2 ）を形成した後、前記酸化膜上にフォトリソグのパターンを形成することにより作製することを特徴とする請求項17記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項19】 前記第1の犠牲膜を酸化膜（ SiO_2 ）により形成し、その除去にフッ酸を用いると共に、前記第2の犠牲膜をSi（シリコン）により形成し、その除去に XeF_2 （フッ化キセノン）あるいは BrF_3 （フッ化臭素）を用いることを特徴とする請求項18記載の三次元構造体の作製方法。

【請求項20】 前記構造体を圧電材料の粉末を固めることにより形成することを特徴とする請求項18記載の三次元構造体の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、犠牲層を除去することにより空隙を形成する工程を有する三次元構造体の作製方法に係り、特に、MEMS（Micro Electro Mechanical System）分野におけるデバイスを製造する際に用いて好適な三次元構造体の作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、MEMS分野において、三次元構造体を実現する技術の1つとして、基板上に予め犠牲層を形成し、この犠牲層上に構造膜を形成した後、犠牲層をエッチングして除去することにより所望の構造を実現する方法が採用されている。犠牲層としては SiO_2 （二酸化シリコン）やSi（シリコン）が用いられ、 SiO_2 により犠牲層を形成した場合にはHF（フッ化水素）系のエッチング液、また、Siにより犠牲層を形成した場合には気相の XeF_2 （フッ化キセノン）や BrF_3 （フッ化臭素）が用いられている。

【0003】MEMSデバイスの一例としては、例えば、SLM（Silicon Light Machines）社の三次元構造のGLV（Grating Light Valve）と称される光バルブがある。この光バルブは、基板上に6本の可動リボン（架橋部）を一組として設け、これら可動リボンのうちのいくつかを選択的に動かすことによって回折格子を形成して入射光の方向を変えるものである。その動作原理は、可動リボンに電極を付設し、可動リボンの下方の基板側に設けた対向電極との間の静電引力で可動リボンを変形させるというものである。この可動リボンを基板から浮いた形（架橋構造）に作製するプロセスとして、Si（シリコン）の犠牲層を例えば XeF_2 ガスでエッチングする技術が使われている。

【0004】ところで、このような液系あるいはガスなどのエッチャントを用いて犠牲層を除去する場合、エッチングは犠牲層とエッチャントが接した部分で進行する

わけであるから、その接し方、つまり接触面積が反応速度を律速している。従って、上述の光バルブのような簡単な構造であれば、反応速度は比較的速くなる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の光バルブ以上に幅の広い可動リボンや、リボンの下の基板上に複雑な構造がある場合、あるいはリボンと基板の間が更に狭いなど、入り組んだ複雑な構造でエッチング物質が侵入しにくい場合や、犠牲層の膜厚が薄い場合には、エッチャントが除去しようとする犠牲層に接触することが困難になり、エッチング工程に多大な時間を要していた。ちなみに、このようなエッチャントの犠牲層部分への入りにくさがエッチング速度を大幅に落とす現象は「ウィンドウ（window）効果」と呼ばれている。

【0006】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、比較的簡単な工程でウィンドウ効果を低減し、複雑な構造であってもエッチング工程に要する時間を短縮することができる三次元構造体の作製方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明による三次元構造体の作製方法は、犠牲層をエッチングすることにより空隙を有する構造体を作製する工程において、最終の犠牲層の下に1または2以上の別の種類の犠牲層を予め設けておき、これら別の種類の犠牲層を最終の犠牲層のエッチングの前に除去し、これにより得られた空隙を利用して最終の犠牲層のエッチングを行うようにしたものである。

【0008】本発明による三次元構造体の作製方法は、具体的には、基板上に第1の犠牲層を形成した後、第1の犠牲層上に別の種類の第2の犠牲層を形成し、そのうち第1の犠牲層を除去することにより第1の空隙を形成する工程と、第2の犠牲層上に別の種類の第3の犠牲層を形成した後、第2の犠牲層を除去することにより第1の空隙よりも大きな第2の空隙を形成する工程と、第3の犠牲層上に所望の構造膜を形成した後、第2の空隙を利用して第3の犠牲層を除去する工程とを含むものである。

【0009】本発明による三次元構造体の作製方法は、その他、基板上に第1の犠牲層を形成した後、第1の犠牲層上に別の種類の第2の犠牲層を形成し、そのうち第1の犠牲層を除去することにより空隙を形成する工程と、第2の犠牲層上に所望の構造膜を形成した後、空隙を利用して第2の犠牲層の一部あるいは全部を除去する工程とを含むようにしてもよい。

【0010】また、基板の表面に複数の柱状部を有する型の柱状部を覆うように柱状部とは別の種類の第1の犠牲膜を形成し、そのうち柱状部を除去することにより空隙を形成する工程と、空隙を形成した後、第1の犠牲膜を覆うように更に別の種類の第2の犠牲膜を形成し、そ

ののち基板上に前記複数の柱状部を埋め込むように所望の構造体を形成する工程と、構造体を形成した後、基板を除去し、そののち空隙を利用して第1の犠牲膜および第2の犠牲膜をこの順に除去する工程とを含むような構成としてもよい。

【0011】さらに、基板の表面に複数の柱状凹部を有する膜を形成して型を作製する工程と、型の膜上に柱状凹部に沿って第1の犠牲膜を形成し、そののち膜を除去することにより第1の空隙を形成する工程と、空隙を形成した後、第1の犠牲膜を覆うように別の種類の第2の犠牲膜を形成し、そののち第2の犠牲膜上に複数の凹部を埋め込むように所望の構造体を形成する工程と、構造体を形成した後、第1の犠牲膜を選択的に除去することにより第1の空隙よりも大きな第2の空隙を形成すると共に、構造体を前記基板から切り離す工程と、構造体を基板から切り離したのち、空隙を利用して第2の犠牲膜を除去する工程とを含むようにしてもよい。

【0012】本発明による三次元構造体の作製方法では、最終の犠牲層（犠牲膜）をエッチングにより除去する前に、その下の別の種類の犠牲層（犠牲膜）が除去され、これにより得られた空隙を利用して最終の犠牲層（犠牲膜）のエッチングが行われる。これによりエッチャントの侵入が容易になると共にエッチャントの犠牲層との接触面積が大きくなり、最終の犠牲層のエッチング工程が効率よく実行される。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0014】〔第1の実施の形態〕図1～図7は本発明の第1の実施の形態に係る三次元構造体の製造工程を表すものである。ここでは、前述のような光バルブの架橋構造（可動リボン部）を一例としてその作製方法について説明する。なお、図1～図7の各図において、(B)は平面構造、(A)は(B)のA-A線に沿った断面構造を示している。

【0015】まず、図1に示したように、基板、例えばガラス基板11の上の所定位置に、例えば長方形のフォトリソ（感光性樹脂）膜12を例えば100nmの厚みに形成する。次に、図2に示したように、フォトリソ膜12の上に二酸化シリコン（ SiO_2 ）膜13を例えば100nmの厚みに形成し、更に、例えばフッ化水素（HF）溶液を用いたウェットエッチングにより、二酸化シリコン膜13を図3(B)のようなフォトリソ膜12を覆う形状に成形する。ここで、二酸化シリコン膜13の成膜には、例えば基板加熱をしないスパッタリング法等の低温の成膜法が用いられる。それは、後にエッチング除去されるフォトリソ膜12が一般的に150℃以上の温度で加熱されると剥離が困難になるためであり、二酸化シリコン膜13の形成はおしなべて150℃以下の低温で行なうことが望ましい。な

お、フォトリソ膜12が本発明の「第1の犠牲層」の一具体例に対応している。

【0016】次に、図3に示したように、例えばこのガラス基板11に対してエッチングを施し、フォトリソ膜12のみを除去して空隙14を形成する。ここでは、二酸化シリコン膜13を選択的に残すようにエッチングを行なうもので、例えば高圧アセトン処理法（例えば、第47回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、p868, 29a-YK-2(2000)）などが用いられる。高圧アセトン処理法とは、例えば、ガラス基板11をアセトンと共に密閉容器内に封入して、280℃に加熱する方法である。この方法によれば、二酸化シリコン膜13の側から浸透してきたアセトンがフォトリソ膜12を容易に分解する。

【0017】次に、図4に示したように、例えば、二酸化シリコン膜13の上に水素を導入した非晶質シリコン（ a-Si:H ）膜15を例えば100nmの厚みで形成する。形成方法としては、例えばプラズマCVD（Chemical Vapor Deposition: 化学的気相成長）法が用いられ、成膜後、例えば SF_6 ガスを用いたドライエッチングにより非晶質シリコン膜15を所定形状に成形する。非晶質シリコン膜15は、ここでは二酸化シリコン膜13よりも幅が狭くなっている。なお、二酸化シリコン膜13が本発明の「第2の犠牲層」、また、非晶質シリコン膜15が本発明の「第3の犠牲層」の一具体例にそれぞれ対応している。

【0018】次に、図5に示したように、二酸化シリコン膜13を例えばエッチングにより選択的に除去する。ここでは、非晶質シリコン膜15を選択的に残すようにエッチングが行なわれ、例えばフッ化水素溶液を用いた短時間のウェットエッチングなどが用いられる。これにより、空隙14は、フォトリソ膜12に加えて二酸化シリコン膜13が占めていた空間にまで拡張される。

【0019】次に、図6に示したように、例えば非晶質シリコン膜15の上に架橋するようにして、窒化シリコン（ Si_3N_4 ）膜16を例えば100nmの厚みで形成する。形成方法としては、例えばプラズマCVD法が用いられ、成膜後、例えば CF_4 ガスを用いたドライエッチングにより窒化シリコン膜16を所定形状に成形する。窒化シリコン膜16は、非晶質シリコン膜15よりも更に幅が狭くなっている。

【0020】最後に、図7に示したように、例えばエッチングにより非晶質シリコン膜15を除去する。エッチング方法としては、 XeF_2 ガスを用いたドライエッチング等を用いることができ、これによれば非晶質シリコン膜15の除去を高い選択比で行なうことが可能である。ここで、空隙14は、以上の工程において形成・除去された膜の形状や厚みにより図7(A)に示したような形状に形成される。このようにして、空隙14をエアギャップとして湾曲した断面形状を有すると共に、所定

の幅の短冊状の窒化シリコン膜16が得られる。以後、説明は省略するが電極等を形成することにより、この窒化シリコン膜16が例えば静電気力によって上下に変位する可動リボンとして機能する。

【0021】このように、本実施の形態によれば、犠牲層である二酸化シリコン膜13、非晶質シリコン膜15の下に空隙14を設けるようにしたので、エッチングの際にこれら犠牲層にエッチャントが空隙14の側から達し、容易かつ十分に除去することができ、エッチング所要時間を大幅に短縮することができる。よって、このよう

な方法によれば、ウィンドウ効果を防止し、例えば犠牲層の膜厚が薄かったり、犠牲層を含む形成物の構造が複雑であったりして、従来はエッチャントが犠牲層の隅々まで浸透しにくかった場合にも容易にエッチングすることができる。

【0022】また、二酸化シリコン膜13を介することによって、フォトリソ膜12を除去した後に非晶質シリコン膜15を形成するようにしたので、高温で形成されるために直接フォトリソ膜12の上に形成することが難しかった非晶質シリコン膜15を犠牲層として利用することが可能となる。

【0023】(変形例)次に、第1の実施の形態の変形例について図8～図12を参照して説明する。この変形例は、所望の架橋部の下の空隙が比較的大きく、上記実施の形態よりエッチングの難易度が低い場合に簡便で好適な方法である。

【0024】まず、図8に示したように、基板、例えばガラス基板21の上の所定位置に、例えば矩形状のフォトリソ膜22を例えば300nmの厚みに形成する。次に、図9に示したように、例えばスパッタリング法により非晶質シリコン(a-Si)膜23を例えば200nmの厚みで形成する。続いて、例えばSF₆ガスを用いたドライエッチングにより非晶質シリコン膜23を所定形状に成形する。非晶質シリコン膜23は、ここではフォトリソ膜22よりも幅が狭くなっている。ここで、フォトリソ膜22が本発明の「第1の犠牲層」、また、非晶質シリコン膜23が本発明の「第2の犠牲層」の一具体例にそれぞれ対応している。

【0025】次に、図10に示したように、フォトリソ膜22を選択的に除去する。これによりフォトリソ膜22が占めていた空間に空隙24が形成される。ここでは、非晶質シリコン膜23を選択的に残すように、前述の高圧アセトン処理を行う。次に、図11に示したように、例えば非晶質シリコン膜23の上に架橋するようにして、例えばプラズマCVD法により窒化シリコン(SiNx)膜25を例えば100nmの厚みで形成する。成膜後、例えばCF₄ガスを用いたドライエッチングにより窒化シリコン膜25を所定形状に成形する。なお、窒化シリコン膜25は、更に、非晶質シリコン膜23よりも幅を狭くする。

【0026】最後に、図12に示したようにエッチングにより非晶質シリコン膜23を除去する。エッチング方法としては、XeF₂ガスを用いたドライエッチング等を用いることができ、これにより非晶質シリコン膜23の除去を高い選択比で行なうことができる。ここで、空隙24は、以上の工程において形成・除去された膜の形状や厚みにより図12(A)に示したような形状になる。このようにして、空隙24をエアギャップとして湾曲した断面形状を有すると共に、所定の幅の短冊状の窒化シリコン膜25が得られる。

【0027】このように、本変形例では、形成しようとする可動リボン(窒化シリコン膜25)下の空隙が大きいという前提のもとに、フォトリソ膜22上に非晶質シリコン膜23を直接スパッタリングにより成膜し、これを第2の犠牲層として利用した。スパッタリングにより非晶質シリコン膜を形成すると不純物が混入しやすいが、空隙が大きければ、犠牲層(非晶質シリコン膜)のエッチングが比較的容易に進むからである。なお、本来なら、上記実施の形態のように不純物の少ないCVD法により非晶質シリコン膜を形成することがエッチングの観点からは望ましいが、成膜温度が高くなるという不利な点がある。これに対して本変形例では、温度は高くする必要はないので、比較的簡便な方法で犠牲層のエッチングを行うことができる。なお、その他の作用効果は上記実施の形態の場合と同様である。

【0028】[第2の実施の形態]次に、図13～図18を参照して本発明の第2の実施の形態に係る三次元構造体の製造工程を説明する。本実施の形態では、第1の犠牲層をエッチングする際に、第1の犠牲層を被覆する膜(第2の犠牲層)に開孔を設け、その開孔を利用して第1の犠牲層のエッチングを容易にしたものである。

【0029】まず、図13に示したように、基板、例えばガラス基板31の上に、水素を導入した非晶質シリコン(a-Si:H)膜32をプラズマCVD法により100nmの厚みで形成する。成膜後、例えばSF₆ガスを用いたドライエッチングにより非晶質シリコン膜32を所定形状に成形する。ここで、非晶質シリコン膜32が本発明の「第1の犠牲層」の一具体例に対応している。

【0030】次に、図14に示したように、蒸着法により非晶質シリコン膜32を覆うようにアルミニウム(Al)膜33を成膜し、ウェットエッチング法によって方形形状に成形する。続いて、陽極化成法によりアルミニウム膜33を陽極化することによって、多数の微細な開孔34を有するポーラスアルミナ膜33aとする。次いで、図15に示したように、このポーラスアルミナ膜33aを軽くドライエッチングすることによって開孔34が下地の非晶質シリコン膜32まで到達するようにする。なお、開孔34は、後にポーラスアルミナ膜33aの上に形成する窒化シリコン膜36の内部への侵入を防

止するために、高アスペクト比、例えば5~10程度のものとするのが望ましい。なお、アルミニウム膜33またはポーラスアルミナ膜33aが本発明の「第2の犠牲層」の一具体例に対応している。

【0031】次に、図16に示したように、例えばXeF₂ ガスを用いたドライエッチング等によって非晶質シリコン膜32を除去する。このとき非晶質シリコン膜32を覆っているポーラスアルミナ膜33aには多数の開孔34が設けられているので、これら開孔34を通して非晶質シリコン膜32が容易に除去される。これによりポーラスアルミナ膜33aの下に空隙35が形成される。続いて、図17に示したように、例えばプラズマCVD法によってポーラスアルミナ膜33aの上に架橋するようにして、窒化シリコン膜36を例えば100nmの厚みで形成する。成膜後、例えばCF₄ ガスを用いたドライエッチングにより窒化シリコン膜36を所定形状に成形する。なお、窒化シリコン膜36はポーラスアルミナ膜33aよりも幅が狭くなっている。

【0032】最後に、図18に示したように、ウェットエッチングによってポーラスアルミナ膜33aを除去する。これにより窒化シリコン膜16の下に空隙35がポーラスアルミナ膜33aの分だけ拡大される。

【0033】このように本実施の形態では、第1の犠牲層（非晶質シリコン膜32）を覆う第2の犠牲層を多数の開孔34を有するポーラスアルミナ膜33aとしたので、非晶質シリコン膜32をドライエッチングにより除去する際に、XeF₂ などのガスが開孔34を通して進入するため、非晶質シリコン膜32の除去が容易に行われる。すなわち、犠牲層が複雑に入り組んだ構造上に成膜されている場合でも、犠牲層へのエッチングガスの接触を容易にすることができる。ちなみに、ポーラスアルミナ膜33a上に、窒化シリコン膜16を成膜する際には、開孔34が極めて微細でかつ高アスペクト比であるため、開孔34内へ窒化シリコンが侵入することは殆どなく、窒化シリコン膜16への開孔の影響はない。また、窒化シリコンの成膜方法として、CVD法よりも被覆率（カバレッジ）の悪い（低被覆率の）成膜方法、例えばスパッタリング法を適用することによっても開孔の影響を防止することができる。なお、本実施の形態では、最後にはポーラスアルミナ膜33aを除去したが、ポーラスアルミナ膜33aは構造材として残して利用することも可能である。

【0034】〔第3の実施の形態〕次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。本実施の形態では、図19に示したシリコンの型40を用いて圧電材料の三次元構造体を実現するものである。このような構造体は例えば医療用超音波振動子、ピエゾ素子などに利用することができる。シリコンの型40はシリコン基板41の表面に、例えば直径10μm、高さ100μm程度の多数のシリコン柱42を剣山状に設けたものである。なお、

この型40はディープRIE（Reactive Ion Etching）によって作製することができる。

【0035】この型40を用いて圧電材料の三次元構造体を作製するには、従来では、図20に示したように、型40の上に圧電材料、例えばPZT（鉛ジルコン酸塩チタン酸塩）の粉末43を埋込み、所定の圧力を加えて固めたのち、シリコン基板41をCMP（Chemical and Mechanical Polishing：化学的機械研磨）法によって削り取り、引き続き例えばXeF₂ ガスを用いたドライエッチングによってシリコン柱42を除去する。これにより、型40に対して反転した形状の圧電材料による構造体44を得ることができる。しかしながら、この方法では、シリコン柱42の高さが径に比較して大きいため、高価なXeF₂ ガスによるエッチング工程に長時間を要する。

【0036】このようなことから、本実施の形態では、まず、図21（A）に示したように、シリコン基板41の表面に多数のフォトレジスト柱45を設け、型を形成した後、非加熱プラズマCVD法により、これらフォトレジスト柱45を覆うように二酸化シリコン膜47（第1の犠牲膜）を形成する。引き続き、図21（B）に示したように、例えば高圧アセトン法を用いたエッチングによりフォトレジスト柱45を除去し、空隙49を設ける。その後、図22（A）に示したように、二酸化シリコン膜47を覆うように熱CVD法によってシリコン膜48（第2の犠牲膜）を形成した後に、PZTの粉末43を埋め込み、所定の圧力をかけて固める。次いで、図22（B）に示したように、シリコン基板41をCMP法により削り取って、更に二酸化シリコン膜47を除去し、続いて、XeF₂ ガスを用いたドライエッチングによってシリコン膜48を除去する。

【0037】この方法によれば、空隙の分だけXeF₂ ガスの接触面積が広がるので、ドライエッチングによるシリコン膜46のエッチングが容易になり、高価なXeF₂ ガスによるエッチング時間を短縮することができる。

【0038】〔第4の実施の形態〕次に、図23~図29を参照して本発明の第4の実施の形態に係る三次元構造体の製造工程を説明する。本実施の形態も、圧電材料の三次元構造体を実現するものである。本実施の形態に係る三次元構造体も例えば医療用超音波振動子、ピエゾ素子などに利用することができる。

【0039】本実施の形態では、まず、図23（A）に示したように、シリコン基板51の表面を熱酸化して、例えば厚さ2.0μmのSiO₂ からなる熱酸化膜52を全面に形成する。次いで、シリコン基板51の主面上において、熱酸化膜52上にフォトレジストを厚さ100μmに塗布する。このフォトレジストをパターンニングして図23（B）に示したように、例えば直径30μmの円柱形の多数の凹部53aを有するフォトレジストパ

ターン53を形成し型を作製する。なお、凹部53aの形状は、円柱状に限らず角柱状でもよく、所望の構造体の形状により決定される。

【0040】次に、図24に示したように、例えば140℃程度の基板加熱を伴うプラズマCVD法により、このフォトリソパターン53を覆うように二酸化シリコン膜54（第1の犠牲膜）を形成する。二酸化シリコン膜54の厚さは、例えば500nmである。引き続き、図25に示したように、例えば高圧アセトン法を用いたエッチングによりフォトリソパターン53を除去し、空隙55（第1の空隙）を設ける。

【0041】その後、図26に示したように、例えば600℃程度の基板加熱を伴う減圧CVD法により、二酸化シリコン膜54を覆うように多結晶シリコン（poly-Si）膜56（第2の犠牲膜）を形成し、薄い3次元構造の二酸化シリコン膜54を補強する。この多結晶シリコン膜56の厚さは例えば1.5μmである。その後、図27に示したように、PZTの粉末を10%PVAc（polyvinyl alcohol）に混合して得たスラリー状のPZT57を埋め込み、HIP（Hot Isostatic Pressing；高温静水圧圧縮）法により所定の圧力をかけて（例えば1000℃、70MPa）固める。

【0042】次いで、図28に示したように、フッ酸中に浸漬することにより二酸化シリコン膜54をエッチング除去すると共に、PZT57をシリコン基板51から切り離す。なお、このとき空隙55が拡大される（第2の空隙）。続いて、図29に示したように、拡大された空隙55を利用し、XeF₂ガスを用いたドライエッチングによって多結晶シリコン膜56を除去する。このようにして、例えば直径26μm、高さ100μmの多数の円柱状の柱状部（ロッド）57aを有する、PZTからなる三次元構造体が完成する。

【0043】本実施の形態によれば、多結晶シリコン膜56のみをXeF₂ガスを用いたドライエッチングによって除去すればよいので、エッチングすべきシリコンの量を大幅に低減させることができ、プロセスのスループットを向上させることができる。また、空隙の分だけXeF₂ガスの接触面積が広がるので、ドライエッチングによる多結晶シリコン膜56のエッチングが容易になり、高価なXeF₂ガスによるエッチング時間を短縮することができる。

【0044】以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

【0045】〔実施例1〕本実施例は第1～第3の犠牲層を利用した第1の実施の形態（図1～図7）に対応するもので、ガラス基板上に可動リボンを作製した例である。

【0046】本実施例では、まず、ガラス基板11上に、厚さ100nm、1.5μm×3.0μmのフォトリソ膜12のパターンを形成した（図1参照）。続

いて、ガラス基板11を加熱することなくスパッタリング法によって膜厚100nmの二酸化シリコン（SiO₂）膜13を成膜し、続いて、この二酸化シリコン膜13をHF溶液を用いたウェットエッチングによって、フォトリソ膜12を覆うように2.0μm×4.0μmの大きさにパターニングした（図2参照）。なお、この二酸化シリコン膜は強い引っ張り応力を示した。なお、スパッタリング時の温度は、80℃とした。

【0047】次に、密閉した容器内にアセトンと共にガラス基板11を入れて280℃に加熱した。これにより、二酸化シリコン膜13を通して侵入したアセトンが容易にレジストを分解し、その結果二酸化シリコン膜13のパターンの下に高さ0.1μmの空隙14を得た（図3参照）。次いで、ガラス基板11を300℃に加熱してプラズマCVD法によって、厚さ100nmの非晶質シリコン（a-Si:H）膜15を成膜し、続いてSF₆ガスを用いたドライエッチング法によって非晶質シリコン膜15を1.2μm×5.0μmの大きさにパターニングした（図4参照）。

【0048】次に、ガラス基板11を短時間、HF溶液中に保持することにより、二酸化シリコン膜13を除去し、非晶質シリコン膜15の下に空隙14を拡大した（図5参照）。続いて、ガラス基板11を300℃に加熱してプラズマCVD法により厚さ100nmの窒化シリコン膜16を成膜し、CF₄ガスを用いたドライエッチング法により1.0μm×6.0μmの大きさにパターニングした（図6参照）。なお、この窒化シリコン膜16も強い引っ張り応力を示した。

【0049】次に、このガラス基板11を図示しないエッチングチャンバに投入し、XeF₂ガスを0.8Torrの圧力で流すことにより、高い選択比で非晶質シリコン膜15だけを除去した（図7参照）。以上のプロセスにより、ガラス基板11の上にその表面から0.3μmの大きな空隙14を持つ窒化シリコン膜16の架橋構造（リボン）が完成した。本実施例では、XeF₂ガスのエッチングを行う際に、既に非晶質シリコン膜15の下に0.2μmの空隙14があるため、XeF₂ガスの侵入が容易になり、犠牲層の断面積が小さい場合の所謂ウィンドウ効果を低減させることができた。以上のプロセスにより、犠牲層の膜厚が薄い場合や犠牲層下地の凹凸が激しくエッチャントが侵入しにくい場合であっても、容易に犠牲層をエッチングすることが可能になった。

【0050】〔実施例2〕本実施例は第1の実施の形態の変形例に対応するものであるが、ここでは2層の犠牲層を用いた場合の例である。

【0051】本実施例では、まず、ガラス基板21上に、厚さ300nm、1.5μm×3.0μmのフォトリソ膜22のパターンを形成した（図8参照）。続いて、ガラス基板11を加熱することなくスパッタリン

グ法によって厚さ200nmの非晶質シリコン(a-Si:H)膜23を成膜し、続いてSF₆ガスを用いたドライエッチング法によって1.2μm×4.0μmの大きさにパターニングした(図9参照)。なお、この非晶質シリコン膜23は強い引っ張り応力を示した。また、スパッタリング時の温度は、80℃とした。

【0052】次に、密閉した容器内にアセトンと共に上記ガラス基板21を入れて280℃に加熱する。これにより、非晶質シリコン膜23を通して侵入したアセトンが容易にレジストを分解し、その結果、非晶質シリコン膜23のパターンの下に高さ0.3μmの空隙24を得た(図10参照)。続いて、ガラス基板21を300℃に加熱し、プラズマCVD法により非晶質シリコン膜23の上に厚さ100nmの窒化シリコン膜25を成膜し、CF₄ガスを用いたドライエッチング法により1.0μm×6.0μmの大きさにパターニングした(図11参照)。この窒化シリコン膜25も強い引っ張り応力を示した。

【0053】次に、このガラス基板21を図示しないエッチングチャンバに投入し、XeF₂ガスを0.8Torrの圧力で流すことにより、高い選択比で非晶質シリコン膜23だけを除去した(図12参照)。以上のプロセスにより、ガラス基板21の上にその表面から0.5μmの空隙24を持つ窒化シリコン膜25の架橋構造(リボン)が完成した。前述のように、スパッタリングにより非晶質シリコン膜を形成すると不純物が混入しやすいが、XeF₂ガスのエッチングを行う際に、既に非晶質シリコン膜23の下に0.3μmの空隙14があり、しかも非晶質シリコン膜23の膜厚が0.2μmと厚く、XeF₂ガスの侵入が容易であるため、犠牲層として十分に機能した。従って、本実施例は、犠牲層のエッチングが容易な場合に簡便な手法として利用することができる。

【0054】【実施例3】本実施例は第2の実施の形態(図12～図18)に対応するもので、第2の犠牲層に開孔を設け、その開孔を利用して第1の犠牲層のエッチングを容易にする例である。

【0055】本実施例では、まず、ガラス基板31を300℃に加熱し、プラズマCVD法により厚さ100nmの非晶質シリコン(a-Si:H)膜32を成膜し、続いてSF₆ガスを用いたドライエッチング法によって3.0μm×6.0μmの大きさにパターニングした(図13参照)。次に、蒸着法によりアルミニウム(Al)膜33を200nmの厚みに形成し、引き続き、燐酸中でウェットエッチングを行い、4.0μm×6.0μmの大きさにパターニングした(図14参照)。このアルミニウム膜は強い引っ張り圧力を示した。

【0056】続いて、ガラス基板31を3wt%のシュウ酸に入れ、アルミニウム膜33を陽極にしてアルミニウム膜を陽極酸化した。化成電圧は90Vであった。そ

の結果、アルミニウム膜33はポーラスアルミナ膜33aに変化し、孔径が約40nmの開孔34を持つに至った(図15参照)。続いて、塩素(Cl₂)ガスを用いたドライエッチング法によって、ポーラスアルミナ膜33aを軽くエッチングすることにより、開孔34が下地の非晶質シリコン膜32まで到達するように変えた。

【0057】次に、このガラス基板31を図示しないエッチングチャンバに投入し、XeF₂ガスを0.8Torrの圧力で流すことにより、高い選択比で非晶質シリコン膜32だけをポーラスアルミナ膜33aの開孔34を通して除去した(図16参照)。その結果、ポーラスアルミナ膜33aの下に100nmの空隙35を得ることができた。

【0058】続いて、ガラス基板31を350℃に加熱し、プラズマCVD法によって窒化シリコン(SiNx)膜36を100nmの厚みに形成し、CF₄ガスを用いたドライエッチング法により3.0μm×8.0μmの大きさにパターニングした(図17参照)。このとき、下地のポーラスアルミナ膜33aの孔径が微細であるため、CVD膜でもこの孔の中に均一に成膜されず、開孔は窒化シリコンにより塞がれて、窒化シリコン膜36の表面に下地の開孔の影響が出ることは殆ど無かった。続いて、燐酸によりポーラスアルミナ膜33aをエッチングして除去し、窒化シリコン膜36の下に300nmの空隙35を得ることができた(図18参照)。以上のプロセスにより、犠牲層の膜厚が薄い場合や犠牲層下地の凹凸が激しくエッチャントが侵入しにくい場合であっても容易に犠牲層をエッチングすることが可能になった。

【0059】以上、実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、各部の寸法、基板の材質、膜厚、プロセス条件等は本発明の主旨を逸脱しない限りにおいて変更が可能である。例えば、フッ化キセノン(XeF₂)ガスの代わりにフッ化臭素(BrF₃)ガスを用いることも可能である。

【0060】また、第1の実施の形態および実施例1では、二酸化シリコン膜でレジストパターンを完全に被覆するようにしたが、完全に被覆しないようなパターンとしてもよい。更に、第2の実施の形態および実施例3では、陽極酸化によりポーラスアルミナ膜を形成するようにしたが、ポーラスアルミナ以外でも、微細な開孔を持つ他の物質、例えばスパッタ法により形成されたポーラスSiO₂などを使用するようにしてもよい。

【0061】また、各実施の形態において、二酸化シリコン膜、非晶質シリコン膜および窒化シリコン膜をスパッタリング法またはプラズマCVD法により形成するようにしたが、その他の方法でもよいことはいうまでもない。更に、膜の種類についても、三次元構造の態様に応じて適宜選択することができるものであり、また、その

エッチングについても膜の材質に応じた方法を選択することができる。

【0062】また、上記実施の形態においては、2層または3層の犠牲層を用いるようにしたが、4層以上の犠牲層を用いるようにして、より空隙を大きくするようにしてもよい。

【0063】加えて、上記実施の形態では、半導体デバイスの一例として光バルブ等を例に挙げて説明したが、本発明は、MEMS分野におけるセンサなどの他の半導体デバイスを製造する場合についても広く適用することができる。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように本発明の三次元構造体の製造方法によれば、犠牲層をエッチングして空隙を有する構造体を作製する工程において、最終の犠牲層の下に1または2以上の別の種類の犠牲層を予め設けておき、これら別の種類の犠牲層を最終の犠牲層のエッチングの前に除去し、これにより得られた空隙を利用して最終の犠牲層のエッチングを行うようにしたので、最終の犠牲層のエッチングの際に、エッチャントの侵入が容易になると共にエッチャントの犠牲層との接触面積が大きくなるため、最終の犠牲層のエッチング工程を効率よく実行することができる。よって、凹凸の激しい犠牲層や膜厚の薄い犠牲層を短時間で効率良くエッチングすることが可能になり、複雑な立体構造を容易に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る光バルブの製造工程を説明するための図であり、(B)は平面図、

(A)は(B)のA-A線に沿った断面図である。

【図2】図1の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図3】図2の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図4】図3の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図5】図4の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図6】図5の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図7】図6の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図8】第1の実施の形態の変形例を説明するための断面図および平面図である。

【図9】図8の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図10】図9の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図11】図10の工程に続く工程を説明するための断

面図および平面図である。

【図12】図11の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図13】本発明の第2の実施の形態に係る光バルブの製造工程を説明するための断面図および平面図である。

【図14】図13の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図15】図14の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

10 【図16】図15の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図17】図16の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図18】図17の工程に続く工程を説明するための断面図および平面図である。

【図19】本発明の第3の実施の形態を説明するためのシリコンの型の斜視図である。

【図20】図19の型を用いた三次元構造体の製造工程の一例を説明するための断面図である。

20 【図21】図19の型を用いた三次元構造体の製造工程の他の例を説明するための断面図である。

【図22】図21に続く工程を説明するための断面図である。

【図23】本発明の第4の実施の形態に係る三次元構造体の製造工程の一例を説明するための図であり、(B)は平面図、(A)は(B)のA-A線に沿った断面図である。

【図24】図23に続く工程を説明するための断面図である。

30 【図25】図24に続く工程を説明するための断面図である。

【図26】図25に続く工程を説明するための断面図である。

【図27】図26に続く工程を説明するための断面図である。

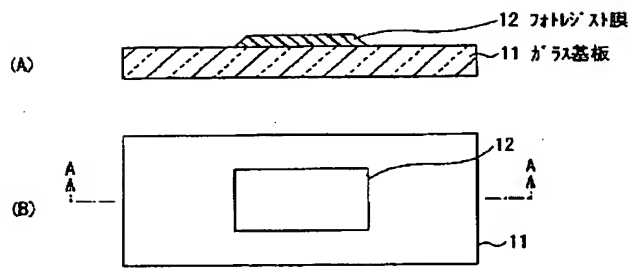
【図28】図27に続く工程を説明するための断面図である。

【図29】図28に続く工程を説明するための断面図である。

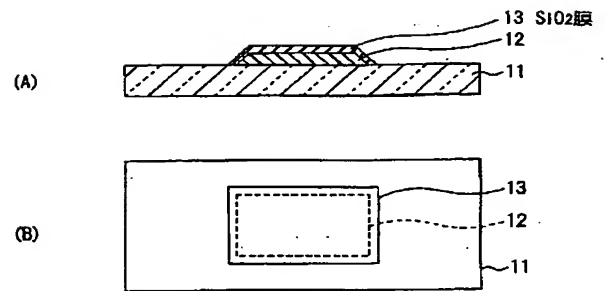
40 【符号の説明】

11, 21, 31…ガラス基板、12, 22…フォトリジスト膜、13, 54…二酸化シリコン(SiO_2)膜、14, 24, 35, 49, 55…空隙、15…非晶質シリコン(a-Si:H)膜、16, 25…窒化シリコン(Si_3N_4)膜(可動リボン)、23, 32…非晶質シリコン膜、33…アルミニウム膜、33a…ポーラスアルミナ膜、34…開孔、43, 57…PZT、51…シリコン基板、52…熱酸化膜、53…フォトリジストパターン、53a…凹部、55…多結晶シリコン膜

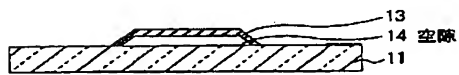
【図1】



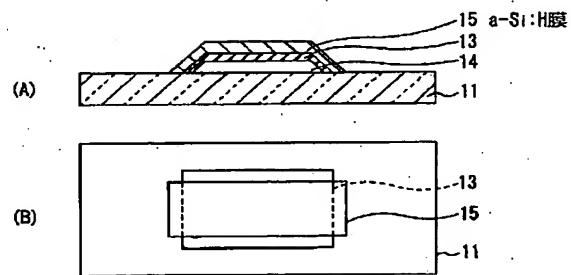
【図2】



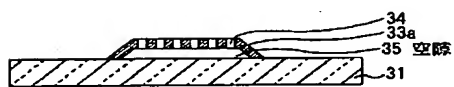
【図3】



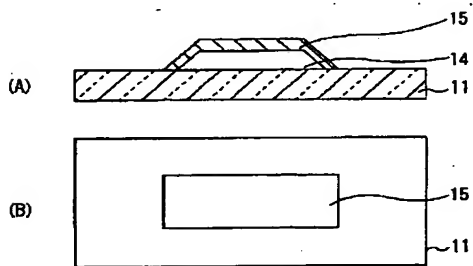
【図4】



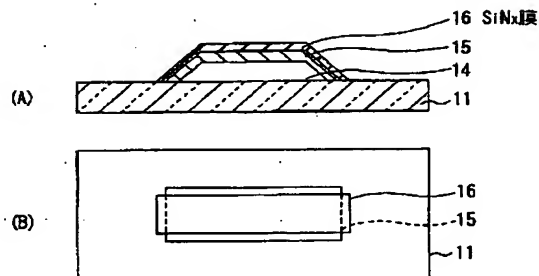
【図16】



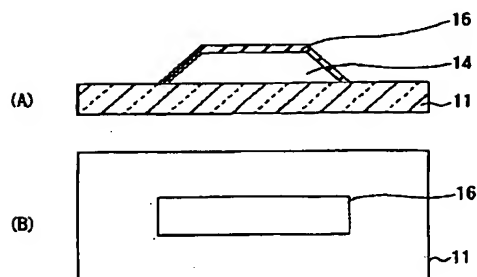
【図5】



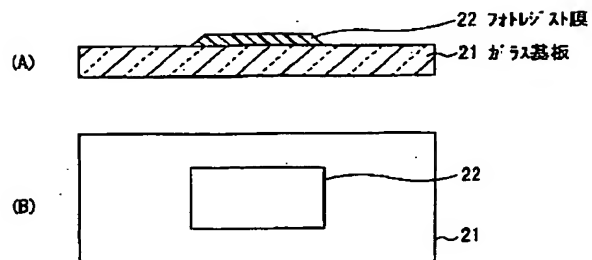
【図6】



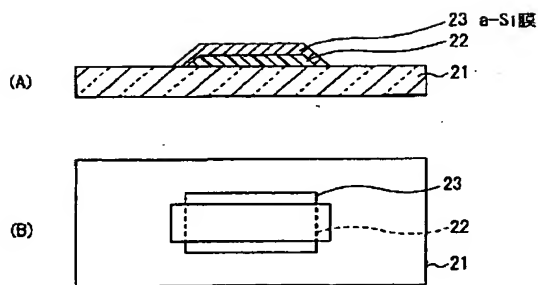
【図7】



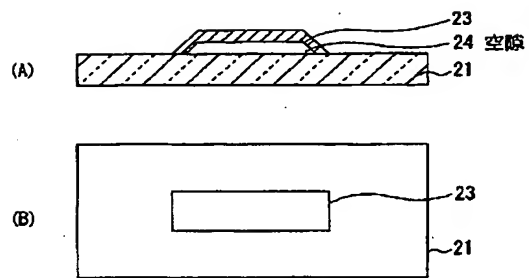
【図8】



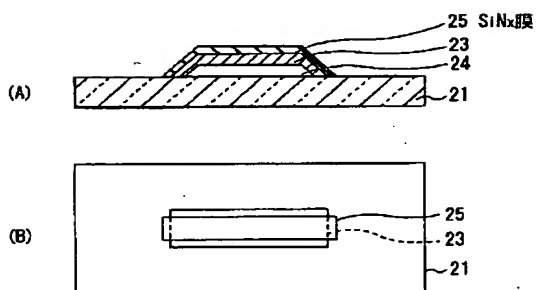
【図 9】



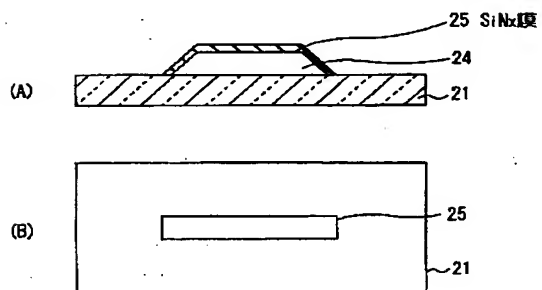
【図 10】



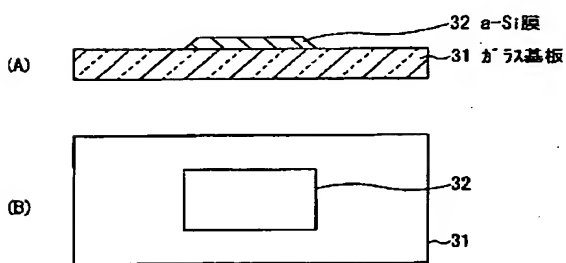
【図 11】



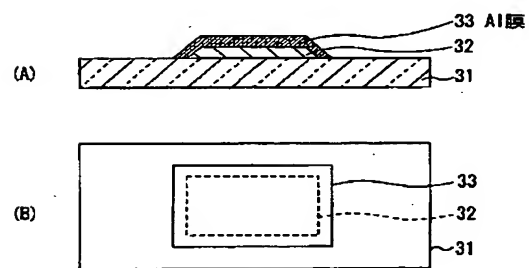
【図 12】



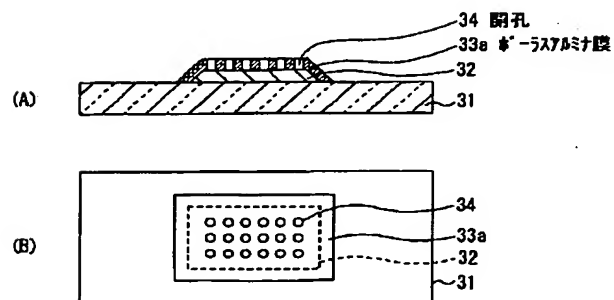
【図 13】



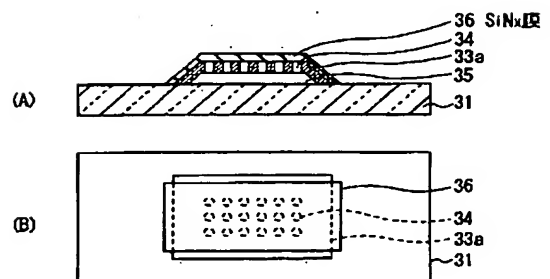
【図 14】



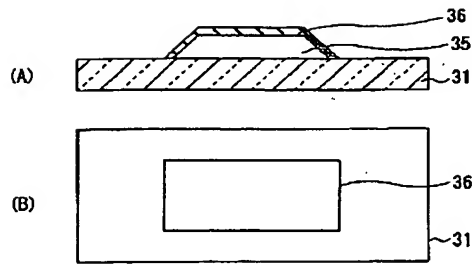
【図 15】



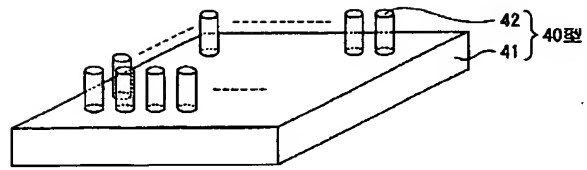
【図 17】



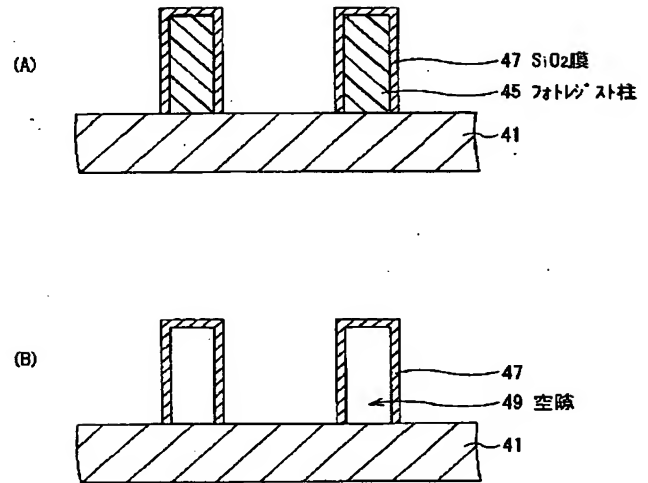
【図18】



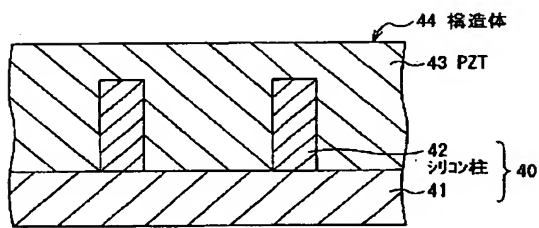
【図19】



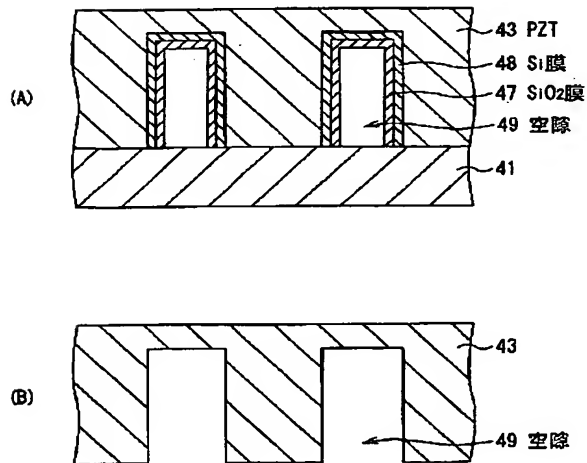
【図21】



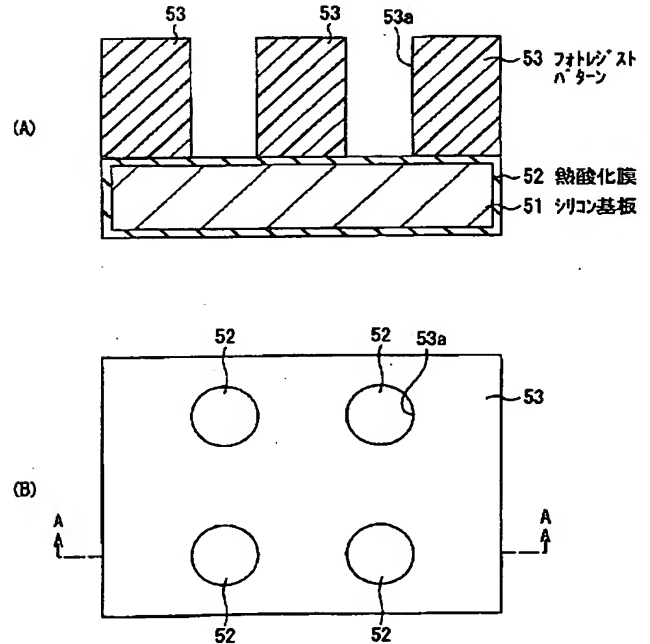
【図20】



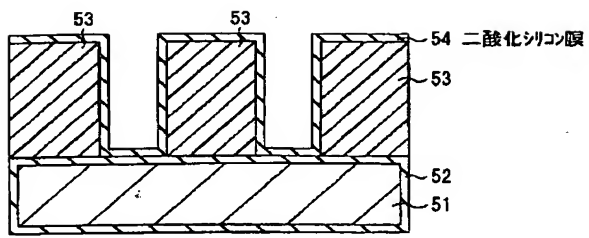
【図22】



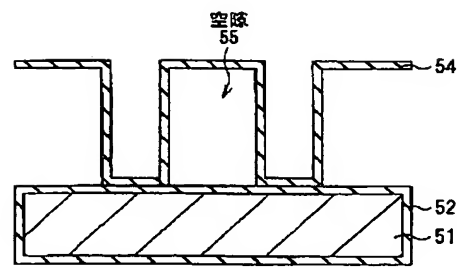
【図23】



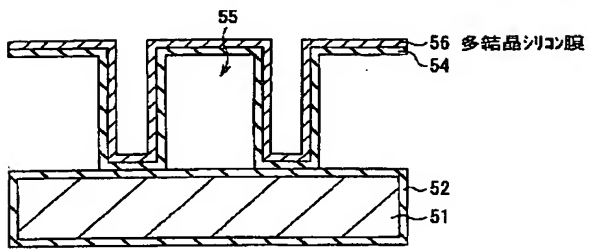
【図24】



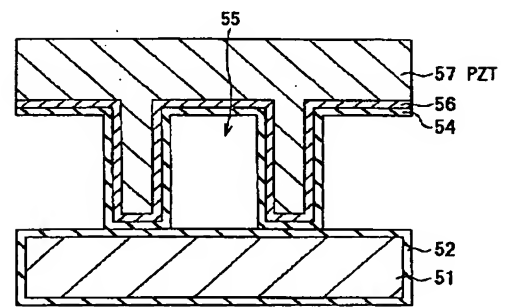
【図25】



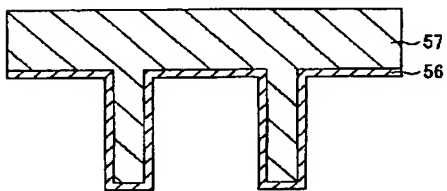
【図26】



【図27】



【図28】



【図29】

